

MAGNETORESISTIVE EFFECT ELEMENT AND MAGNETICRESISTIVE EFFECT-TYPE HEAD

Publication number: JP11008424

Publication date: 1999-01-12

Inventor: KAWAWAKE YASUHIRO; SAKAKIMA HIROSHI;
SATOMI MITSUO

Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

Classification:

- international: G11B5/39; H01F10/08; H01F10/16; H01F10/32;
H01L43/08; G11B5/31; G11B5/39; H01F10/00;
H01F10/08; H01F10/12; H01L43/08; G11B5/31; (IPC1-
7); H01L43/08; G11B5/39; H01F10/16

- European: H01F10/32N6; Y01N4/00; Y01N12/00

Application number: JP19970326822 19971127

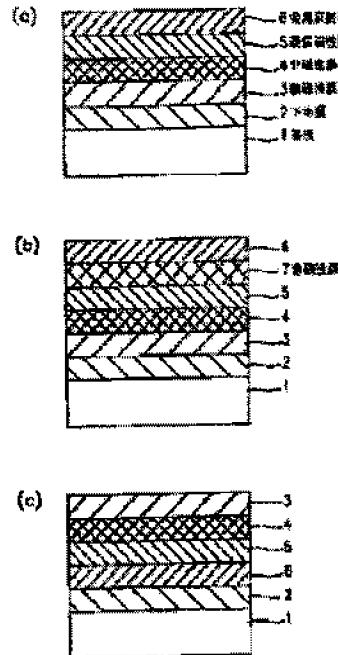
Priority number(s): JP19970326822 19971127; JP19960317344 19961128;
JP19960342967 19961224; JP19970108780 19970425

[Report a data error here](#)

Abstract of JP11008424

PROBLEM TO BE SOLVED: To increase an MR ratio by providing a metallic reflection film that can easily generate reflected scattering, while maintaining the spin direction of an electron on the surface of a spin valve film.

SOLUTION: A metallic reflection film 6 is added to the configuration of a basic spin valve film in a configuration of a soft magnetic film 3, a non-magnetic 4, and a hard magnetic property film 5. For example, Ag, Au, Bi, Sn, and Pb and the like should be used for the metal reflection film 6, and a level of several angstroms is measured on the surface for forming a smooth surface. Ag and Au are especially superior, and Ag is most effective. Therefore, a large number of conductive electrons are subjected to specular reflection on the surface of the metallic reflection film 6, and relatively spin information is maintained. In this manner, when electrons is subjected to the specular reflection on the thin film surface, the same effect as one where a magnetic property layer/non-magnetic layer are laminated in a multiple layer can be obtained, thus increasing an MR ratio.



Data supplied from the [esp@cenet](#) database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-8424

(43)公開日 平成11年(1999)1月12日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

F I

H 01 L 43/08

H 01 L 43/08

Z

G 11 B 5/39

C 11 B 5/39

H 01 F 10/16

H 01 F 10/16

審査請求 有 請求項の数41 OL (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平9-326822

(71)出願人 000003821

(22)出願日 平成9年(1997)11月27日

松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地

(31)優先権主張番号 特願平8-317344

(72)発明者 川分 康博

(32)優先日 平8(1996)11月28日

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(33)優先権主張国 日本 (JP)

(72)発明者 棚間 博

(31)優先権主張番号 特願平8-342967

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(32)優先日 平8(1996)12月24日

(72)発明者 里見 三男

(33)優先権主張国 日本 (JP)

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(31)優先権主張番号 特願平9-108780

(74)代理人 弁理士 山本 秀策

(32)優先日 平9(1997)4月25日

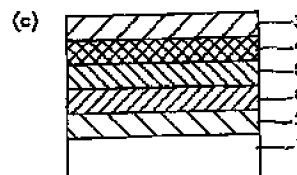
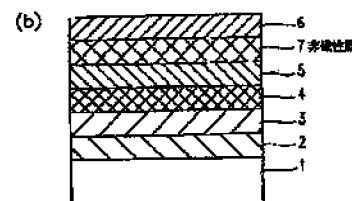
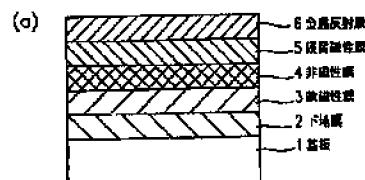
(33)優先権主張国 日本 (JP)

(54)【発明の名称】 磁気抵抗効果素子及び磁気抵抗効果型ヘッド

(57)【要約】

【課題】 MR比の高い磁気抵抗効果素子及び磁気抵抗効果型ヘッドを提供する。

【解決手段】 磁気抵抗効果素子は、非磁性膜4を介して積層された少なくとも2つの磁性膜3、5と、磁性膜の最も外側の磁性膜5の少なくとも一方に、磁性膜5と接して非磁性膜4と反対側に形成された、電子のスピン方向を維持したまま反射散乱を生じやすい金属反射膜6を有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 非磁性膜を介して積層された少なくとも2つの磁性膜と、

該磁性膜の最も外側の磁性膜の少なくとも一方に、該磁性膜と接して非磁性膜と反対側に形成された、電子のスピニ方向を維持したまま反射散乱を生じやすい金属反射膜とを有することを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 該金属反射膜と該磁性膜の間に、更に非磁性膜を有する、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 該非磁性膜がCuであり、該金属反射膜が、Ag,Au,Bi,Sn,Pbのうちのいずれか一つ以上を主成分とすることを特徴とする、請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 該金属反射膜と非磁性膜を介して接する該磁性膜がCoまたはCo高濃度のCo-Fe合金を主成分とすることを特徴とする、請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 該磁性膜が、磁性層と、CoまたはCo高濃度のCo-Fe合金を主成分とする界面磁性層との少なくとも2層から成り、該界面磁性層が、該非磁性膜を介して該金属反射膜と接していることを特徴とする、請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 該非磁性膜を介して該金属反射膜と接している該磁性膜が、軟磁性層を挟んだCoまたはCo高濃度のCo-Fe合金を主成分とする界面磁性層から成ることを特徴とする、請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項7】 該金属反射膜は、その表面が平滑であることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項8】 該金属反射膜は、その表面の少なくとも一部分が、オングストローム単位のレベルで見て平滑であることを特徴とする、請求項7に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項9】 該金属反射膜は、その表面の少なくとも10%以上が、3オングストローム以下の凹凸の平滑な表面であることを特徴とする、請求項8に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項10】 該非磁性膜がCuであり、該金属反射膜が、Ag,Au,Bi,Sn,Pbのうちのいずれか一つ以上を主成分とすることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項11】 該金属反射膜と直接接する磁性膜がCoまたはCo高濃度のCo-Fe合金を主成分とすることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項12】 該磁性膜が、磁性層と、CoまたはCo高濃度のCo-Fe合金を主成分とする界面磁性層との少なくとも2層から成り、該界面磁性層が、直接該金属反射膜と接していることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項13】 直接該金属反射膜と接している該磁性

膜が、軟磁性層を挟んだCoまたはCo高濃度のCo-Fe合金を主成分とする界面磁性層から成ることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項14】 少なくとも2つの該磁性膜のうち、少なくとも一つの磁性膜の保磁力が他の磁性膜と異なっていることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項15】 該非磁性膜を介して積層された第1、および第2の磁性膜と、該第1の磁性膜と接して該非磁性膜と反対側に形成された反強磁性体と、該第2の磁性膜と接して該非磁性膜と反対側に形成された金属反射膜を有することを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項16】 該金属反射膜と該磁性膜の間に、更に非磁性膜を有することを特徴とする、請求項15に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項17】 該反強磁性体膜が酸化物であることを特徴とする、請求項15に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項18】 該反強磁性体膜がNi-Oであることを特徴とする、請求項15に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項19】 該反強磁性体膜が α -Fe₂O₃であることを特徴とする、請求項15に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項20】 該第2の磁性膜が、非磁性膜を介して積層された2層以上の磁性膜からなることを特徴とする請求項15に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項21】 該反強磁性体膜が基板にエピタキシャルに形成されていることを特徴とする、請求項15に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項22】 第1の磁性膜、該非磁性膜、第2の磁性膜、反強磁性体膜、および該金属反射膜が順次形成された構成となっていることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項23】 該反強磁性体膜と該金属反射膜の間に非磁性膜を有することを特徴とする、請求項22に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項24】 該反強磁性体膜がIr-Mn合金であることを特徴とする、請求項23に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項25】 該反強磁性体膜がIr-Mn合金であることを特徴とする、請求項22に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項26】 基板上に、直接または下地膜を介して、第1の反強磁性体膜、磁性膜、非磁性膜、軟磁性膜、非磁性膜、磁性膜、第2の反強磁性体膜、および金属反射膜が順次積層されて成る、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項27】 該第2の反強磁性体膜と該金属反射膜との間に更に非磁性膜を有することを特徴とする、請求項26に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項28】 該第2の反強磁性体膜がIr-Mn合金で

あることを特徴とする請求項27に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項29】 第1の反強磁性体膜が酸化物であることを特徴とする、請求項26に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項30】 該第1の反強磁性体膜がNi-Oであることを特徴とする、請求項26に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項31】 該軟磁性膜が、非磁性膜を介して積層された2層以上の磁性膜からなることを特徴とする請求項26に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項32】 該第1、および該第2の反強磁性体膜の内少なくとも一方がIr-Mn合金であることを特徴とする、請求項30に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項33】 該第1の反強磁性体膜が α -Fe₂O₃であることを特徴とする、請求項26に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項34】 該第1の反強磁性体膜が基板にエピタキシャルに形成されていることを特徴とする、請求項33に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項35】 該第2の反強磁性体膜がIr-Mn合金であることを特徴とする、請求項26に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項36】 基板上に、直接または下地膜を介して、金属反射膜、第1の反強磁性体膜、磁性膜、非磁性膜、軟磁性膜、非磁性膜、磁性膜、第2の反強磁性体膜、および金属反射膜を順次積層して成る、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項37】 該第1、および該第2の反強磁性体膜と該金属反射膜との間の少なくとも一方に更に非磁性膜を有することを特徴とする、請求項36に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項38】 該非磁性膜が基板にエピタキシャルに形成されていることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項39】 薄膜成長方向と垂直に該非磁性膜の(100)面がエピタキシャル成長していることを特徴とする、請求項38に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項40】 MgO(100)基板上に、Pt下地層を介して該非磁性膜がエピタキシャル成長していることを特徴とする、請求項39に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項41】 非磁性膜を介して積層された少なくとも2つの磁性膜と、該磁性膜の最も外側の磁性膜の少なくとも一方に、該磁性膜と接して非磁性膜と反対側に形成された、電子のスピン方向を維持したまま反射散乱を生じやすい金属反射膜とを有する磁気抵抗効果素子と、該磁気抵抗効果素子に電流を供給するリード部とを備え、

該磁気抵抗素子の保持力の最も小さい磁性膜または反強磁性体と接しない磁性膜の磁化容易軸が、検知すべき信

号磁界方向に垂直となるように構成されたことを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は磁気抵抗効果素子及び磁気抵抗効果型ヘッドに関し、特に、低磁界で大きな磁気抵抗変化をおこす磁気抵抗効果素子、およびそれを用いて構成される、高密度磁気記録再生に適した磁気抵抗効果型ヘッドに関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来より磁気抵抗効果素子を用いた磁気抵抗センサー（以下MRセンサーという）、磁気抵抗ヘッド（以下MRヘッドという）の開発が進められている。磁性体には主にNi_{0.8}Fe_{0.2}のパーマロイやNi_{0.8}Co_{0.2}合金膜が用いられている。これら磁気抵抗効果材料の磁気抵抗変化率（以下MR比と記す）は、2.5%程度である。より高感度な磁気抵抗素子を得るためににはよりMR比の大きなものが求められている。

【0003】近年Cr, Ru等の金属非磁性薄膜を介して反強磁性的結合をしている[Fe/Cr], [Co/Ru]人工格子膜が強磁场（1~10 kOe）で巨大磁気抵抗効果を示すことが発見された（61 第2472項（1988年）；同 64 第2304項（1990）（Physical Review Letter Vol.61, p2472, 1988; 同 Vol.64, p2304, 1990））。

【0004】しかしながらこれらの人工格子膜は大きなMR変化を得るのに数kOe~数10kOeの磁界を必要とする。このため、磁気ヘッド等の用途には実用的でない。

【0005】又金属非磁性薄膜Cuで分離され磁気的結合をしていない保磁力の異なる磁性薄膜Ni-FeとCoを用いた[Ni-Fe/Cu/Co]人工格子膜でも巨大磁気抵抗効果が発見され、室温印加磁界0.5kOeでMR比が約8%のものが得られている（59 第3061頁（1990年）（Journal of Physical Society of Japan Vol.59, p3061, 1990））。

【0006】しかしながらこのタイプの磁気抵抗効果材料は、大きな磁気抵抗変化を得るのに約100 Oeの磁界を必要とする。かつ磁気抵抗も磁界が負から正にわたって非対称な変化をして直線性が悪い。このため実用的には使いにくい特性となっている。

【0007】更にCuを介したRKKY的反強磁性的結合をしている磁性薄膜Ni-Fe-Co, Coを用いた[Ni-Fe-Co/Cu/Co], [Ni-Fe-Co/Cu]人工格子膜でも巨大磁気抵抗効果が発見され、室温印加磁界0.5kOeでMR比が約15%のものが得られている（電子情報通信学会技術研究報告 MR91-9）。

【0008】しかしながらこのタイプの磁気抵抗効果材料の場合、磁気抵抗変化は磁界零から正にわたってほぼ直線的に変化しMRセンサーには十分実用的な特性を示すものの、やはり大きなMR変化を得るのに50 Oe程度の磁界を必要とする。このため、少なくとも20 Oe以下

の磁界での動作が要求されるMRヘッドとして使用するには不十分である。

【0009】微小印加磁界で動作するものとしては反強磁性材料のFe-MnをNi-Fe/Cu/Ni-Feにつけたスピナルブ型のものが提案されている（

93第101項（1991年）（Journal of Magnetism and Magnetic Materials 93, p101, 1991）。このタイプの磁気抵抗効果材料は、動作磁界は確かに小さく、直線性も良いものの、MR比は約2%と小さい。また、Fe-Mn膜の耐蝕性の問題点がある。さらに、Fe-Mn薄膜のネール温度（配列温度）が低いために、素子の特性の温度依存性が大きいという欠点があった。

【0010】また反強磁性体を用いる代わりにCo-Pt等の硬質磁性材料を用いた、Ni-Fe/Cu/Co-Pt等の構成のスピナルブ膜も提案されている。この場合は硬質磁性膜の保磁力以下で、軟磁性層の磁化を回転することにより、磁化の平行、反平行状態を作り出すものである。しかし、この場合も軟磁性層の特性をよくするのは難しく、実用化には至っていない。

【0011】また、スピナルブ膜のMR比を大きくする手段の一つとして、比抵抗の低い金属を更に膜の背部に設けた低抵抗背部層により、Cu/Ni-Fe/Cu/Ni-Fe/Fe-Mnの構成としたものも提案されている（USP5422571）。これは、特定のスピナの電子の平均自由行程を長くすることによりMR比を大きくしてやろうとする試みである。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】従来のスピナルブ型のMR素子は、反強磁性体を用いたタイプでも硬質磁性膜を用いたタイプにおいても、磁界感度はすぐれているが、MR比が低いという問題点があった。低抵抗背部層による、MR比の向上効果も十分でなかった。この原因は、スピナルブ型のMR素子は膜厚が薄いため、素子表面で電子が散乱されやすいためと考えられる。

【0013】このことをもう少し詳細に説明すると以下のようになる。

【0014】もともと、巨大磁気抵抗効果は、磁性層／非磁性層の界面での電子のスピンに依存した散乱が原因である。そこで、この散乱の起こる確率を上げるために、スピナ方向に依存しない散乱の確率を下げ、電子の平均自由行程を長くすることが重要である。

膜においては、磁性層／非磁性層の積層回数が少ない。従って、スピナルブ膜の膜厚は、例えば20-50nm程度と、一般に反強磁性結合型の巨大磁気抵抗効果膜に比べて薄い。このため、膜表面で電子が散乱される確率が高く、電子の平均自由行程が短かった。これが膜のMR比が低い主な原因である。

【0015】通常、薄膜の表面には、伝導電子の波長（フェルミ波長）のレベルである、数オングストローム

のレベルで見ると、凹凸がある。この場合、伝導電子は表面で非弾性的な散乱（拡散散乱）を受ける。一般に、拡散散乱の場合には、電子のスピン方向は維持されない。

【0016】本願発明は係る課題を解決するためになされたものである。

【0017】本願発明の目的は、MR比の高い磁気抵抗効果素子及び磁気抵抗効果型ヘッドを提供することにある。

【0018】本願発明の他の目的は、電子の平均自由行程が長いスピナルブ型の磁気抵抗効果素子及び磁気抵抗効果型ヘッドを提供することにある。

【0019】本願発明のさらに他の目的は、磁性層と非磁性層との界面において、電子のスpin方向に依存した散乱の起こる確率の高い、スピナルブ型の磁気抵抗効果素子及び磁気抵抗効果型ヘッドを提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】前述の目的を達成するために本願発明の磁気抵抗効果素子は、スピナルブ膜の表面に、電子のスpin方向を維持したまま反射散乱を生じやすい金属反射膜を設けることを特徴とする。

【0021】金属反射膜はその表面が、数オングストロームのレベルで見て平滑であることが要求される。この場合伝導電子は、膜表面で弾性的な散乱（鏡面散乱）を起こし、伝導電子のスpin方向は保存されて、平均自由行程が伸びたのと同等の効果が現れる。従って、MR比が増大する。

【0022】金属反射膜としては、Ag, Au, Bi, Sn, Pb等の材料がよい。これらの原子は、スピナルブ膜で良く用いられるNi, Fe, Cu, Co膜などの材料と異なり、数オングストロームのレベルで見て、平滑な表面が出来やすい。特に、Ag, Auがすぐれており、中でもAgは最も効果がある。特に、Ag, Auの場合は、(111)面がより平滑になりやすく、数オングストロームのレベルで見て、平滑な表面が得られやすい。従って、(111)面は、基板の表面に対して概略平行であるのが望ましい。

【0023】また、より望ましくは、更に、金属反射膜とスピナルブ膜（磁性膜）との間にCu等の非磁性層を挿入すると良い。この非磁性層は、金属反射膜の表面を平滑にするバッファ層としての効果と、磁性層との界面でスピナに依存する散乱を大きくする効果との両方の効果を有する。

【0024】又より望ましくは、さらに、金属反射膜を設けた側の磁性層の表面をCo層とするのも良い。磁性層と非磁性層（金属反射膜）との界面でのスピナ方向に依存した散乱により、MR比を大きくするためである。

【0025】より望ましくは、スピナルブ膜全体を単結晶基板にエピタキシャル成長させると良い。

【0026】また、望ましくは、磁気抵抗素子部の軟磁

性膜の磁化容易軸が、検知すべき信号磁界方向に垂直となるように構成すると良い。

【0027】また、本発明の磁気抵抗効果型ヘッドは、前述の磁気抵抗効果素子に、更に一部を具備してなることを特徴とする。

【0028】

【発明の実施の形態】以下本願発明の磁気抵抗効果素子および磁気抵抗効果型ヘッドを図面に基づいて説明する。

【0029】図1-5に本願発明の磁気抵抗効果素子の構成を示す断面図の例を示す。中でも図1-3は硬質磁性膜を用いた（保磁力の異なる2種類の磁性膜を用いた）スピンドルブルブ膜を示す。この場合、保磁力のより大きい磁性膜を硬質磁性膜と呼び、保磁力の小さい方の磁性膜を軟磁性膜と呼ぶ。

【0030】図1(a)に示す本願発明の磁気抵抗効果素子は、基板1上に下地膜2を介して軟磁性膜3、非磁性膜4、硬質磁性膜5、および金属反射膜6が順次形成された構成を有する。従来のスピンドルブルブ素子においては、金属反射膜6ではなく、表面には保護層が形成され、MRヘッドを構成する場合には、シールドギャップ材として絶縁膜等が形成されている。

【0031】通常、スピンドルブルブ膜の軟磁性膜3としては、Ni-Co-Fe合金が適している。Ni-Co-Fe膜の原子組成比としては、 $Ni_xCo_yFe_z$

$$0.6 \leq x \leq 0.9$$

$$0 \leq y \leq 0.4$$

$$0 \leq z \leq 0.3$$

のNi-richの軟磁性膜、もしくは、 $Ni_xCo_yFe_z$,

$$0 \leq x' \leq 0.4$$

$$0.2 \leq y' \leq 0.95$$

$$0 \leq z' \leq 0.5$$

のCo-rich膜を用いるのが望ましい。これらの組成の膜はセンサー用やMRヘッド用として要求される低磁歪特性(1×10^{-5})を有する。

【0032】また他の軟磁性膜3の材料としては、Co-Mn-B、Co-Fe-B、Co-Nb-Zr、Co-Nb-B等のアモルファス膜も良い。

【0033】軟磁性膜3の膜厚としては1nm以上10nm以下がよい。膜厚が厚いとシャント効果によりMR比が低下するが、薄すぎると軟磁性特性が劣化する。より望ましくは2nm以上5nm以下、更に望ましくは2nm以上3nm以下とするのがよい。

【0034】硬質磁性膜5としては角型が0.7以上、更に望ましくは0.85以上の強磁性体がよい。ここで角型とは飽和磁界Msと残留磁化Mrを用いて、 Mr/M_s で表されるものという。

【0035】硬質磁性層の角型が小さいと軟磁性層との間で磁化の完全な平行および反平行状態が実現されない。従って、角型の大きいものが望まれる。

【0036】硬質磁性膜の材料としては、CoまたはCo-Fe合金、Co-Pt合金等のCo系の材料が優れている。特にCoまたはCo-Fe合金がよい。

【0037】硬質磁性膜5の膜厚は1nm以上10nm以下がよい。膜厚が厚いとシャント効果でMR比が低下するが、薄すぎると磁気特性が劣化する。より望ましくは1nm以上5nm以下とするのがよい。

【0038】硬質磁性膜5と軟磁性膜3の間の非磁性膜4としては、Cu、Ag、Au、Ruなどがあるが、特にCuが優れている。非磁性膜4の膜厚としては、磁性層間の相互作用を弱くするために少なくとも1.5nm以上、望ましくは1.8nm以上は必要である。また非磁性層4が厚くなるとMR比が低下してしまうので、非磁性層4の膜厚は10nm以下、望ましくは3nm以下とするべきである。

【0039】また、特に非磁性膜4の中に硬質磁性膜5と軟磁性膜3との磁気的結合を低下させるのに有効な厚さ1nm以下の他の非磁性層を挿入するのも有効である。たとえば、非磁性層4をCu単層で構成するのではなくCu/Ag/Cu、Cu/Ag、Ag/Cu/Agなどの構成にすると良い。挿入する他の非磁性層の材料はAg、Au等が良い。この時、非磁性層4全体の膜厚は、前述した単層の非磁性層4の場合と同程度にするのが望ましい。非磁性層4に挿入する他の非磁性層の膜厚は、1層あたり厚くても1nm以下望ましくは0.4nm以下とするべきである。

【0040】また、MR比を更に大きくするために、磁性膜（軟磁性膜3または硬質磁性膜5）と非磁性膜4との界面に界面磁性層を挿入するのも有効である。界面磁性層の膜厚が厚いと、MR比の磁界感度が低下するので、界面磁性層の膜厚は2nm以下、望ましくは1.8nm以下とする必要がある。またこの界面磁性層が有効に働くためには、少なくとも0.2nm以上の膜厚は必要であり、望ましくは0.8nm以上の膜厚がよい。界面磁性層の材料としては、CoまたはCo高濃度のCo-Fe合金が優れている。

【0041】基板1としては、後で説明するようにエピタキシャル膜を形成するとき以外、つまり多結晶膜を作製する場合は、ガラス、Si、Al₂O₃-TiC基板等の表面の比較的平滑なものを用いる。MRヘッドを作製する場合には、Al₂O₃-TiC基板を用いる。

【0042】下地膜2は、上部MR素子部（軟磁性膜3-金属反射膜6）の結晶性を改善し、MR比を向上させるもので、Taが良く用いられる。MRヘッドを作製する場合には、更に基板1上にSiO₂、Al₂O₃等の絶縁層、Ni-F等の下部シールド層を形成した後、Taの下地層2を形成する。

【0043】以上説明したような軟磁性膜3/非磁性膜4/硬質磁性膜5の構成の基本的なスピンドルブルブ膜の構成に対して、本願発明の場合には、更にMR比を増大するため、金属反射膜6が追加される。

【0044】この金属反射膜6がない場合には、硬質磁性膜5の表面で、伝導電子が拡散反射されるために、ス

ピン分極情報が失われてしまう。巨大磁気抵抗効果は、伝導電子のスピニに依存した散乱に起因しているので、表面でスピニ情報が失われたり減じたりすると、MR比を低下させることになる。よって従来のスピニバルブ膜では大きなMR比が得られなかった。

【0045】これに対して、金属反射膜6を設けた本発明の磁気抵抗効果素子においては、金属反射膜6の表面で伝導電子が多く鏡面反射され、比較的スピニ情報が保存される。このように薄膜の表面で電子が鏡面反射されると、多層に【磁性層/非磁性層】を積層したのと同等の効果が表れ、MR比が増大する。

【0046】鏡面反射を起こさせるためには、薄膜表面として電子の波長（数オングストローム）のレベルで見て平滑な界面（表面）が要求される。ここでいう平滑な表面とは、全表面にわたって完全に平滑であれば申し分ないが、全体として例えば数10オングストロームの大きな凹凸があったとしても、少なくとも表面の一部分においてオングストローム単位の平滑な部分が形成されていればよい。具体的には、3オングストローム以下の凹凸の超平滑な表面が100×100オングストローム以上の領域で形成されている部分が、概略全表面の10%以上、望ましくは20%以上必要である。そのためには、特定の材料を選ぶ必要がある。

【0047】金属反射膜としては、Ag,Au,Bi,Sn,Pb等の材料がよい。これらの原子は、
膜で良く用いられるNi,Fe,Cu,Co膜などの材料と異なり、表面で、数オングストロームのレベルで見て、平滑な表面が出来やすい。特に、Ag,Auがすぐれており、中でもAgは最も効果がある。特に、Ag,Auは、(111)面がより平滑に成りやすく、数オングストロームレベルで、平滑な表面が得られやすい。従って薄膜表面に対して、(111)面が平行になるようになるのが望ましい。金属反射膜は厚すぎるとシャント効果によりMR比が低下するので、10nm以下、望ましくは3nm以下とするのがよい。また薄すぎると効果がないので少なくとも0.5nm以上の膜厚、望ましくは1nm以上とするのがよい。

【0048】また、図1(b)に示すように、更に、金属反射膜6と硬質磁性膜5との間に非磁性膜7を挿入すると、MR比がより大きくなる。これは、磁性膜5がCo系の材料であり、金属反射膜6にAg,Au等の材料を用いた場合には、Cu等の非磁性膜7を中間に挿入することが特に有効である。非磁性膜7の効果は、一つは金属反射膜の表面をより平滑にする効果であり、もう一つはスピニに依存した散乱を大きくする効果である。磁性層/非磁性層の界面で起こるスピニを保存した散乱が、Co/Ag界面より、Co/Cu界面の方が大きいためである。また、このような観点からは、磁性層がCo以外の材料である場合には、Coを非磁性膜7と磁性膜5との間に、さらにCoまたはCo高濃度のCo-Fe合金の界面磁性層を挿入すると、より大きなMR比を示す膜が得られる。この界面磁性層の

膜厚としては、磁性膜と非磁性膜4の界面に挿入する界面磁性層の膜厚と同じである。

【0049】非磁性膜7の材料は非磁性膜4と同じである。非磁性膜7の膜厚は、2nm以下が良く、望ましくは1nm以下がよい。MR比を増大させるためには、少なくとも0.5nm以上の膜厚は必要である。

【0050】また図1(a)は基板1上に下地膜2を介して、軟磁性膜3/非磁性膜4/硬質磁性膜5/金属反射膜6を順次形成した場合の図であるが、下地膜2は、磁気抵抗効果素子のMR比を大きくするために用いるものが必要に応じて用いる。また図1(a)(b)とは逆に、図1(c)に示すように金属反射膜6から構成しても本発明は有効である。

【0051】更に、金属反射膜6を、硬質磁性膜5側ではなく軟磁性膜3側に用いて、図2(a)のような構成としても良い。この場合も、膜の積層順序は、基板1上に下地膜2を介して、図2(a)とは逆に、金属反射膜6/軟磁性膜3/非磁性膜4/硬質磁性膜5の構成としても良い。

【0052】また金属反射膜6は図1および図2(a)の示すように、一方の磁性層の片側に設けるだけでなく、図2(b)に示すように、両方の磁性層の片側に設けても良い。この場合は片側に設ける場合よりも更に、電子の鏡面反射の効果が大きくなり、MR比増大の効果が大きくなる。

【0053】図3はデュアルスピニバルブ膜の両側に金属反射膜6を用いた例である。硬質磁性膜5/非磁性膜4/軟磁性膜3/非磁性膜4/硬質磁性膜5の構成からなるいわゆるデュアルスピニバルブ膜は、単純な硬質磁性膜5/非磁性膜4/軟磁性膜3の構成のスピニバルブ膜に比べて、磁性層/非磁性層界面が増加するためにMR比が増大する。この膜に対しても、金属反射膜6は有効である。片側に金属反射膜を用いてもそれなりの効果はある。

【0054】金属反射膜6と磁性膜（軟磁性膜3または硬質磁性膜5）との間に非磁性膜を挿入すると更にMR比が大きくなる事実は、図1-5に示す構造に共通する。

【0055】なお、磁気抵抗効果素子が多結晶膜である場合にも、単結晶膜である場合にも前述の効果が奏されるが、エピタキシャル膜である場合には、金属反射膜6の効果は特に大きい。これは、金属反射膜6がエピタキシャル膜である場合には表面での鏡面散乱が促進されるためである。

【0056】エピタキシャル膜を形成する方法にはいろいろある。望ましくは、MgO,Si等の基板が良い。特に望ましくは、MgO(100)またはSi(111)基板が良い。

【0057】MgO(100)基板を用いた場合、下地層として、Pt層を形成し、更にCu層を下地層として形成するのよい。Pt層の膜厚としては、5nm以上50nm以下が望ま

しい。その後に、例えば図1(b)に示すような素子を構成する。このとき、例えば非磁性膜7がCuで、金属反射膜6がAgの場合には、格子定数の差が大きいため、Ag膜の一部は、(100)配向となるが、多くはより整合性の良い(111)配向となる。このAg膜は、表面が非常に平滑で、鏡面反射を起こしやすく、MR比を増大させる効果が大きい。

【0058】Si(111)基板を用いる場合には、下地層無しで、Ag層を基板上に直接形成した後、例えば非磁性膜Cu、軟磁性膜Ni-Fe、非磁性膜Cu、硬質磁性膜Co、非磁性膜Cu、および金属反射膜Agを順次積層する。この時、基板上のAg層の膜厚は5nm以上は必要であり、10nm以下とするのが望ましい。

【0059】以上のように、硬質磁性膜を用いたスピナーパルプ膜に金属反射膜を用いた場合について説明したが、反強磁性体を用いたスピナーパルプ膜の場合にも本発明は有効である。この場合、反強磁性体に接した磁性膜は磁化方向が固定される。反強磁性体に接しない磁性膜は外部からの磁界により磁化方向が変化し、抵抗変化を起こす。従って、外部磁界に対する磁界感度を上昇させるために、反強磁性体と接しない磁性膜に軟磁性膜を用いる。図4、図5にこの例を示す。

【0060】図4(a)は、基板1上に下地膜2を介して金属反射膜6/軟磁性膜3/非磁性膜4/磁性膜8/反強磁性体膜9を順次形成した構成を示す。従来のスピナーパルプ膜においては、図4(a)に示す金属反射膜6はない。金属反射膜6がスピナーパルプ膜のMR比を大きくする効果は、硬質磁性膜を用いたスピナーパルプ膜の場合と全く同様である。従って、金属反射膜の膜厚、材質等も前述したのと同等である。また、硬質磁性膜を用いたスピナーパルプ膜の場合と同様に、金属反射膜6と軟磁性膜3の中間に非磁性膜を挿入するのも有効である。また図4(a)は、金属反射膜6から形成する場合について示してあるが、逆に、図4(b)に示すように、反強磁性体膜9/磁性膜8/非磁性膜4/軟磁性膜3/金属反射膜6の順に形成しても良い。

【0061】金属の反強磁性体膜9の材料としては、Fe-Mn、Ni-Mn、Pd-Mn、Pt-Mn、Ir-Mn、Fe-Ir、等がある。このうちFe-Mnは従来のスピナーパルプ膜でもっともよく用いられていたが、耐食性などの観点から実用上問題がある。この面からは、Ir-Mn等の材料が特に優れている。Ir_zMn_{1-z}膜の適当な組成としては、原子組成比で、0.1≤z≤0.5がよい。

【0062】反強磁性体膜9として、Ni-O、Co-O、Ni-O/C-O-O、Co-Ni-O、Fe-O等の酸化物も使用可能である。この中では特にNi-Oまたはα-Fe₂O₃膜が優れている。このような絶縁体は、その絶縁性をうまく利用すればより大きなMR比が実現できる可能性がある。また、MRヘッドとして用いる場合に、シールドギャップ材の一部としても利用可能である。また、α-Fe₂O₃膜の場合には、サフ

アイア(11-20)基板(いわゆるA面)を用いれば、基板上にエピタキシャルに形成できる。その上に更にNi-Fe合金等を形成すると、膜面内で[0001]方向に一軸異方性を付与することが可能であり、結果的に大きなMR比を示す試料を作成できる。

【0063】また図4は、軟磁性膜/非磁性膜/磁性膜/反強磁性体膜の構成のスピナーパルプ膜に対して、軟磁性膜側に金属反射膜を設ける例について示したが、反対に反強磁性体側に金属反射膜を設けてもよい。この場合は、反強磁性体としては、導電性がある金属反強磁性体を用いる必要があり、かつその膜厚をなるべく薄くすることが望ましい。この観点から、反強磁性体としては、Ir-Mn等の材料が適当である。膜厚は5nm以上10nm以下とするのが望ましい。

【0064】また、磁性膜8の材料としては、Co、Ni-FeまたはNi-Fe-Coなどの材料が優れている。

【0065】また反強磁性体を用いたスピナーパルプ膜の場合にも、硬質磁性膜を用いたスピナーパルプ膜の場合と同様に、第1の反強磁性体膜9-1/磁性膜8/非磁性膜4/軟磁性膜3/非磁性膜4/磁性膜8/第2の反強磁性体膜9-2の構成のデュアルスピナーパルプ構造とするのもよい。この場合、図5に示すよう、反強磁性体膜の外側の少なくとも一方に金属反射膜を設けると、MR比を大きくする効果がある。この際、金属反射膜と接する反強磁性体(図5では9-2)は金属の反強磁性体を用いるのが良く、Ir-Mn等が適している。逆に金属反射膜と接しない方の反強磁性体は、Ni-O等の酸化物の絶縁性の反強磁性体が適している。この場合にも、金属反射膜と反強磁性体との間の非磁性層はMR比を更に大きくする効果がある。

【0066】なお以上述べた基板1-磁性膜8の各層の構成方法としては、スパッタリング法または蒸着法が考えられる。いずれの方法でも本発明の磁気抵抗効果素子を作製できる。スパッタリング法としてはDCスパッタリング法、RFスパッタリング法、イオンビームスパッタリング法などがある。いずれの方法でも本発明の磁気抵抗効果素子を作製できる。また、蒸着法の場合には、超高真真空蒸着法が特によい。

【0067】以上述べたような本発明の磁気抵抗効果素子を用いて、磁気抵抗効果型ヘッドを構成することができる。図6にMRヘッドの一例としてハード膜バイアス型のMRヘッドの構成の一例を示す。図6ではMR素子部20は上部および下部のシールドギャップ11、14に挟まれるように構成されている。シールドギャップ材としては、Al₂O₃、SiO₂等の絶縁膜が使われる。シールドギャップ11、14の更に外側はシールド10、15がある。これにはNi-Fe合金などの軟磁性膜が用いられる。MR素子の磁区制御のためにCo-Pt合金等のハード膜によるバイアス磁界を加えるためにハードバイアス部12が設けられる。バイアスの印加方法としては、ハー

ド膜を用いる場合について説明したが、Fe-Mn等の反強磁性体を用いた場合も同様である。MR素子部20はシールドギャップ11、14によってシールド10、15等と絶縁されている。リード部13を介して電流を流すことにより、MR素子部20の抵抗変化が読みとられる。

【0068】将来のハードディスクドライブの高密度化を考慮すると、記録波長を短くする必要性がある。そのためには図6に示したシールド間の距離dを短くする必要がある。そのためには図6から明らかな様に、MR素子部20の幅を薄くする必要があり、少なくとも20nm以下とするのが望ましい。

【0069】またMR素子部20において、軟磁性膜の磁化反転時にパレクハウゼンノイズの発生を押さえる必要がある。図1-図5に示す軟磁性膜3は、その磁化容易軸が、検知すべき信号界磁方向に垂直となるように構成されているのがよい。

【0070】

【実施例】本願発明の磁気抵抗効果素子および磁気抵抗効果型ヘッドを以下具体的な実施例を用いて説明する。

表1-1

No.	試料構成	MR比(%)
A1	Ni-Fe(3nm)/Cu(2.1nm)/Co(3nm)	2.8
A2	Ni-Fe(3nm)/Cu(2.1nm)/Co(3nm)/Ag(2nm)	3.9
A3	Ni-Fe(3nm)/Cu(2.1nm)/Co(3nm)/Cu(1.2nm)	2.4
A4	Ni-Fe(3nm)/Cu(2.1nm)/Co(3nm)/Cu(1.2nm)/Ag(2nm)	5.1
A5	Ni-Fe(3nm)/Cu(2.1nm)/Co(3nm)/Cu(1.2nm)/Pt(2nm)	1.9
A6	Ni-Fe(3nm)/Cu(2.1nm)/Co(3nm)/Cu(1.2nm)/Au(2nm)	4.7

成膜を観察したRHEED(反射高速電子線回折)图形によると、上記のA1-A6の全ての試料において、Ni-Fe、Cu、Co、Ptでは(100)面が基板面(膜表面)に平行に成長していたが、Ag、Au膜では主に(111)面が膜面に平行に成長していた。

【0075】作製した素子の表面を、STMを用いて観察した。その結果、試料A4では、100x100オングストロームの視野で凹凸が約2オングストロームと非常に平滑な表面が形成されている部分が50%以上存在した。それに対して同じようにして観察した素子の表面粗さは試料A3では約7オングストローム、試料A2では約3オングストロームであった。

【0076】このように作製した素子の特性を、室温で約500Oeの外部磁界を印加して直流4端子法で評価した。この評価結果を表1-1に示す。表1-1で、単純なスピンドル構造を有する従来例の試料A1の場合には、MR比は低い。試料A1に金属反射膜であるAg層を設け

表1-2

No.	試料構成	MR比(%)
A7	Co(3nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(3nm)	3
A8	Ag(1nm)/Co(3nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(3nm)	4.5
A9	Ag(1nm)/Cu(1nm)/Co(3nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(3nm)	5.5

【0071】(実施例1)基板としてMgO(100)単結晶基板を用い、超高真空蒸着法で、硬質磁性膜を用いた図1のタイプのスピンドル型素子を作製して、MR特性を評価した。軟磁性膜3としては、Ni_{0.9}Fe_{0.1}(組成は原子組成比を示す)合金を、硬質磁性膜4としてはCoを、非磁性膜4としてはCuを、金属反射膜としてAgまたはAuを用いた。蒸発源としては、Ni-Fe、Co、Ptの場合は電子ビーム蒸発源を、Cu、Ag、AuはKセルを用いた。

【0072】まず、はじめに、MgO基板を超高真空蒸着装置内で500°Cに保持し、下地層としてPt膜を10nm基板にエピタキシャルに形成した。その後室温まで基板を冷却し、Cu層をやはり下地層として5nm形成した。その試料を200°Cで30分加熱し、表面性を良くした後、室温で、以下の表1-1に示すスピンドル型膜を形成した。

【0073】Cu下地膜形成後の200°Cでの熱処理は、平滑な表面を得るために重要であり、これを行わなかった下地上にスピンドル型素子を形成してもMR比は小さかった。なお、表1-1では基板側のMgO/Pt(10nm)/Cu(5nm)の記述は省略してある。

【0074】

た、図1(a)の構成を有する実施例の試料A2ではMR比が約1%増加している。これに対してCu等の材料で金属反射層の代わりをさせようとしても比較例の試料A3に示すように従来例の試料A1と比較してもMR比が低下している。

【0077】しかしながら、図1(b)の構成に示すように、Cu層上に更に、Ag層を構成すると、実施例の試料A4に示すように、MR比が実施例の試料A2よりも大きくなる。Auもほぼ同等の効果があり、実施例の試料A6に示すようにMR比が増大する。この場合に、Agの代わりにPtを用いると、比較例の試料A5に示すようにMR比が低下する。

【0078】以上、軟磁性膜を硬質磁性膜より先に形成する場合について述べたが、図1(c)に示すように硬質磁性膜から構成する場合も同様である。この時の結果を表1-2に示す。表1-2も表1-1と同様に、基板側のMgO/Pt(10nm)/Cu(5nm)を省略してある。

【0079】

表1-2より、従来のスピニバルブ膜の試料A7に比較して、基板側に硬質磁性膜を設けた実施例の試料A8およびA9はMR比が大きいことがわかった。

【0080】また、以上は硬質磁性膜側に、金属反射膜を設けた場合について述べたが、軟磁性膜側に金属反射

膜を設けた図2(a)のような場合も同様な効果がある。表1-1、1-2の場合と全く同様にして、表1-3に示すようなスピニバルブ素子を作製し評価した。

【0081】

表1-3

No.	試料構成	MR比(%)
A10	Co(5nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(5nm)	4.0
A11	Co(5nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(5nm)/Ag(3nm)	5.6
A12	Co(5nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(5nm)/Cu(1.2nm)	3.2
A13	Co(5nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(5nm)/Cu(1.2nm)/Ag(3nm)	7.1

表1-3より、本発明の実施例の試料A11,A13は、従来例の試料A10,A12よりもMR比が高いことは明らかである。

【0082】表1-3の場合は、硬質磁性層側から形成した場合について説明したが、軟磁性側から形成した場

合も全く同様に試料を作成して評価した。その結果を表1-4に示す。

【0083】

表1-4

No.	試料構成	MR比(%)
A14	Ni-Fe(5nm)/Cu(2.1nm)/Co(5nm)	4.2
A15	Ag(1nm)/Ni-Fe(5nm)/Cu(2.1nm)/Co(5nm)	5.5
A16	Cu(1nm)/Ni-Fe(5nm)/Cu(2.1nm)/Co(5nm)	3.3
A17	Ag(1nm)/Cu(1nm)/Ni-Fe(5nm)/Cu(2.1nm)/Co(5nm)	6.2

表1-4より、本発明の実施例の試料A15,A17は、従来例の試料A14,A16よりもMR比が高いことは明らかである。

【0084】次に、下地膜を表1-1のスピニバルブ膜と全く同様に形成した後、図3のタイプのデュアルスピ

ンバルブ膜を形成した。表1-5にその試料の構成と、MR比測定結果を示す。

【0085】

表1-5

No.	試料構成	MR比(%)
A18	Co(3nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(3nm)/Cu(2.1nm)/Co(3nm)	6.2
A19	Ag(1nm)/Co(3nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(3nm)/Cu(2.1nm)/Co(3nm)/Ag(1nm)	8.3
A20	Ag(1nm)/Cu(1nm)/Co(3nm)/Cu(2.1nm)/Ni-Fe(3nm)/Cu(2.1nm)/Co(3nm)/Cu(1nm)/Ag(1nm)	10.1

表1-5からわかるように、本実施例のスピニバルブ素子の試料A19,A20は、従来のスピニバルブ素子の試料A18に比べてMR比が大きい。

【0086】(実施例2) 基板にSi(111)単結晶基板を用いて、図2(b)に示すようなNi-Fe/Cu/Coのスピニバルブ素子を超高真空蒸着法にて形成した。まずSi基板をHF水溶液に浸けて、表面の自然酸化層を除去した後、超高真空蒸着装置にセットする。薄膜の形成方法に関しては、実施例1に準ずる方法で行った。

【0087】まずSi基板上に、金属反射膜としてAg層を7nmエピタキシャル成長させた後、約100°Cで、20分間基

板を保持する。その後、基板を室温にして、非磁性膜としてCu層を5nm形成する。その後、基板を200°Cに加熱して20分間保持した。

【0088】Ag層形成後とCu層形成後の基板加熱は平滑な表面を得るために大変重要である。その後基板を室温にして、Ni-Fe/Cu/Co/Cu/Ag膜を形成した。

【0089】このようにして作製したスピニバルブ膜の構成と実施例1と同様の方法で測定したMR比を表2に示す。表2で基板側のSi/Ag(7nm)/Cu(5nm)は共通であり省略してある。

【0090】

表2

No.	試料構成	MR比(%)
B1	Ni-Fe(2nm)/Cu(3nm)/Co(2nm)	3.4
B2	Ni-Fe(2nm)/Cu(3nm)/Co(2nm)/Ag(5nm)	5.2
B3	Ni-Fe(2nm)/Cu(3nm)/Co(2nm)/Cu(0.5nm)/Ag(5nm)	6.1
B4	Ni-Fe(2nm)/Cu(3nm)/Co(2nm)/Cu(0.5nm)/Au(5nm)	5.8

表2で、実施例の試料B1は下地膜が金属反射膜となって

いるため、普通のMR比を示す。しかし、実施例の試料B2

に示すようにスピンドル膜の両側に金属反射膜層を設けると、よりMR比が大きくなる。磁性層のCo層と金属反射膜層のAg層との界面に非磁性層としてCu層を挿入すると更にMR比が大きくなる(試料B3)。なお反射膜層は実施例の試料B4に示したようにスピンドル膜の両側で、Si基板上に、金属反射膜としてエビタキシャル成長させたAgとAuというぐあいに異なった材料であっても良いし、膜厚が異なっていても良い。

表3

No.	試料構成	MR比(%)
C1	Ni _{0.8} Co _{0.1} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	4.0
C2	Cu(1nm)/Ni _{0.8} Co _{0.1} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	3.3
C3	Ag(1nm)/Ni _{0.8} Co _{0.1} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	5.2
C4	Ag(1nm)/Cu(1nm)/Ni _{0.8} Co _{0.1} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	6.1
C5	Au(1nm)/Cu(1nm)/Ni _{0.8} Co _{0.1} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	5.8
C6	Bi(1nm)/Cu(1nm)/Ni _{0.8} Co _{0.1} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	5.1
C7	Sn(1nm)/Cu(1nm)/Ni _{0.8} Co _{0.1} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	4.8
C8	Pb(1nm)/Cu(1nm)/Ni _{0.8} Co _{0.1} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	5.2

表3では、従来例の試料C1、C2のスピンドル膜に比較して、金属反射膜を用いた本発明の実施例の試料C3-C8がより大きなMR比を示すことがわかる。金属反射膜の材料としては、Au、Ag、Bi、Sn、Pb等が適当であるが、特にAu、Ag、とりわけAgが優れている。

【0092】次に本発明の試料C3、C4と従来例の試料C1との膜をMR素子部20として用いて、図6に示すようなMRヘッドを構成して、特性を評価した。この場合、基板としてはAl₂O₃-TiC基板を用い、下部シールド10、上部シールド15の材料にはNi_{0.8}Fe_{0.2}合金を用い、下部シールドギャップ11、上部シールドギャップ14にはAl₂O₃を用いた。またハードバイアス部12にはCo-Pt合金を用い、リード部13をAuで構成した。また、軟磁性層の磁化容易方向が検知すべき信号磁界方向と垂直になるように、反強磁性体膜より交換異方性を受

けた磁性膜の磁化容易軸の方向が、検知すべき信号磁界方向と平行になるように磁性膜異方性を付与した。

【0093】このための方法として、磁性膜を成膜する際、膜面内で異方性を付与したい方向に、永久磁石で磁界を付与して成膜した。これらのヘッドに約200eの交流信号磁界を印加して両ヘッドの出力を評価したところ、本発明のMRヘッドの試料C3、C4の出力は従来のMR素子の試料C1を用いたヘッドに比べてそれぞれ約30%、60%高出力であった。

【0094】(実施例4) 6元のターゲットを用いたRFマグネットロンスパッタ装置を用いて、水冷ガラス基板上に、実施例3と同様の方法で、図4(b)の構成の磁気抵抗効果素子を作製した。実施例1と同様の方法でMR比を評価した。その結果を表4-1に示す。(各合金の組成はターゲットの原子組成比で示してある。)

表4-1

No.	試料構成	MR比(%)
D1	NiO(50nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)	4.0
D2	NiO(50nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Ag(3nm)	5.5
D3	NiO(50nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(1nm)	3.3
D4	NiO(50nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(1nm)/Ag(3nm)	6.3

表4-1では、従来例の試料D1,D3のスピナルブ膜に比較して、金属反射膜を用いた本発明の実施例の試料D2,D4がより大きなMR比を示すことがわかる。

【0095】次に、反強磁性体膜側に金属反射膜を設け

表4-2

No.	試料構成	MR比(%)
D5	Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2.5nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	3.3
D6	Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2.5nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Ag(1nm)	4.0
D7	Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2.5nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Cu(1nm)	2.4
D8	Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2.5nm)/Co(2nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Cu(1nm)/Ag(1nm)	4.8

表4-2では、従来例の試料D5,D7のスピナルブ膜に比較して、金属反射膜を用いた本発明の実施例の試料D6,D8がより大きなMR比を示すことがわかる。

【0097】次に従来例の試料D1および本発明の実施例の試料D2,D4の膜をMR素子部20として用いて、図6に示すようなMRヘッドを構成して、特性を評価した。この場合、基板としてはAl₂O₃-TiC基板を用い、下部シールド10、上部シールド15の材料にはNi_{0.8}Fe_{0.2}合金を用い、下部シールドギャップ11は絶縁膜であるNiO膜(50nm)を素子部分と共に用い、上部シールドギャップ14にはAl₂O₃を用いた。またハードバイアス部12にはCo-Pt合金を用い、リード部13をAuで構成した。また、軟磁性層の磁化容易方向が検知すべき信号磁界方向と垂直になるように、反強磁性体膜より交換異方性を受けた磁性膜の磁化容易軸の方向が、検知すべき信号磁

表5

No.	試料構成	MR比(%)
E1	NiO(50nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	6
E2	NiO(50nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Ag(3nm)	8.3
E3	NiO(50nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Cu(1nm)	4.4
E4	NiO(50nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Cu(1nm)/Ag(3nm)	9.9

表5では、従来例の試料E1,E3のスピナルブ膜に比較して、金属反射膜を用いた本発明の実施例の試料E2,E4がより大きなMR比を示すことがわかる。

【0100】次に従来例の試料E1および本発明の実施例の試料E2,E4の膜をMR素子部20として用いて、図6に示すようなMRヘッドを構成して、特性を評価した。この場合、基板としてはAl₂O₃-TiC基板を用い、下部シールド10、上部シールド15の材料にはNi_{0.8}Fe_{0.2}合金を用い、下部シールドギャップ11は絶縁膜であるNiO膜(50nm)を素子部分と共に用い、上部シールドギャップ14にはAl₂O₃を用いた。またハードバイアス部12にはCo-Pt合金を用い、リード部13をAuで構成した。

たのスピナルブ膜も表4-1の試料と全く同様にして作成した。

【0096】

界方向と平行になるように磁性膜異方性を付与した。

【0098】このための方法として、磁性膜を成膜する際、膜面内で異方性を付与したい方向に、永久磁石で磁界を付与して成膜した。これらの試料D2,D4のヘッドに約200eの交流信号磁界を印加して両ヘッドの出力を評価したところ、本発明のMRヘッドの試料D2,D4の出力は、従来のMR素子の試料D1を用いたヘッドに比べてそれぞれ約35%、50%高出力であった。

【0099】(実施例5) 6元のターゲットを用いたRFマグネットロンスパッタ装置を用いて、水冷ガラス基板上に、図5の構成の磁気抵抗効果素子を作製した。実施例1と同様の方法でMR比を評価した。その結果を表5に示す。(各合金の組成はターゲットの原子組成比で示してある。)

また、軟磁性層の磁化容易方向が検知すべき信号磁界方向と垂直になるように、反強磁性体膜より交換異方性を受けた磁性膜の磁化容易軸の方向が、検知すべき信号磁界方向と平行になるように磁性膜異方性を付与した。

【0101】このための方法として、磁性膜を成膜する際、膜面内で異方性を付与したい方向に、永久磁石で磁界を付与して成膜した。これらのヘッドに約200eの交流信号磁界を印加して両ヘッドの出力を評価したところ、本発明のMRヘッドの試料E2,E4の出力は従来のMR素子の試料E1を用いたヘッドに比べてそれぞれ約40%、80%高出力であった。

【0102】(実施例6) 6元のターゲットを用いたR

Fマグネットロンスパッタ装置を用いて、水冷ガラス基板上に、表6に示す構成の磁気抵抗効果素子を作製した。実施例1と同様の方法でMR比を評価した。その結果を

表6

No.	試料構成	MR比(%)
F1	Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	4.5
F2	Ag(3nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Ag(3nm)	5.5
F3	Cu(1nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(1nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Cu(1nm)	3.9
F4	Ag(3nm)/Cu(1nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Cu(2nm)/Ni _{0.8} Fe _{0.2} (5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Cu(1nm)/Ag(3nm)	7.1

表6では、従来例の試料F1,F3のスピナルブルプ膜に比較して、金属反射膜を用いた本発明の実施例の試料F2,F4がより大きなMR比を示すことがわかる。

【0103】(実施例7) 6元のターゲットを用いたRFマグネットロンスパッタ装置を用いて、水冷ガラス基板

表6に示す。(各合金の組成はターゲットの原子組成比で示してある。)

表7

No.	試料構成	MR比(%)
G1	Fe ₂ O ₃ (50nm)/Co(5nm)/Cu(2.2nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)	3.8
G2	Fe ₂ O ₃ (50nm)/Co(5nm)/Cu(2.2nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Ag(2nm)	5.4
G3	Fe ₂ O ₃ (50nm)/Co(5nm)/Cu(2.2nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(1nm)	3.1
G4	Fe ₂ O ₃ (50nm)/Co(5nm)/Cu(2.2nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (5nm)/Cu(1nm)/Ag(2nm)	6.2
G5	Fe ₂ O ₃ (50nm)/Co(5nm)/Cu(2.2nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (2nm)/Cu(1nm)/Ni _{0.3} Co _{0.6} Fe _{0.1} (2nm)/Cu(1nm)/Ag(2nm)	6.0

表7では、従来例の試料G1,G3のスピナルブルプ膜に比較して、金属反射膜を用いた本発明の実施例の試料G2,G4,G5がより大きなMR比を示すことがわかる。また、実施例の試料G5は、試料G4に比べて、MR比は大差ないが、軟磁性層の保持力が約100eから50eに下がった。このように、軟磁性層を、非磁性膜を介して積層された2層以上の磁性膜から構成することにより、軟磁気特性を改善し、磁界感度を上昇させることができる。

【0104】次に従来例の試料G1および本発明の実施例の試料G2,G4の膜をMR素子部20として用いて、図6に示すようなMRヘッドを構成して、特性を評価した。この場合、基板としてはAl₂O₃-TiC基板を用い、下部シールド10、上部シールド15の材料にはNi_{0.8}Fe_{0.2}合金を用い、シールドギャップ11は絶縁膜である膜Fe₂O₃(50nm)を素子部分と共に用い、上部シールドギャップ14にはAl₂O₃を用いた。またハードバイアス部12にはCo-Pt合金を用い、リード部13をAuで構成した。ま

たに、軟磁性層の磁化容易方向が検知すべき信号磁界方向と垂直になるように、反強磁性体膜より交換異方性を受けた磁性膜の磁化容易軸の方向が、検知すべき信号磁界方向と平行になるように磁性膜に異方性を付与した。

【0105】このための方法として、磁性膜を成膜する際、膜面内で異方性を付与したい方向に、永久磁石で磁界を付与して成膜した。これらの試料G2,G4のヘッドに約200eの交流信号磁界を印加して両ヘッドの出力を評価したところ、本発明の試料G2,G4に係るMRヘッドの出力は従来の試料G1を用いたヘッドに比べてそれぞれ約30%、45%高出力であった。

【0106】(実施例8) 6元のターゲットを用いたRFマグネットロンスパッタ装置を用いて、水冷ガラス基板上に、図5の構成の磁気抵抗効果素子を作製した。実施例1と同様の方法でMR比を評価した。その結果を表8に示す。(各合金の組成はターゲットの原子組成比で示してある。)

表8

No.	試料構成	MR比(%)
-----	------	--------

H1	Fe_2O_3 (50nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (4nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (6nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (5nm) / $\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}$ (8nm)	5.5
H2	Fe_2O_3 (50nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (4nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (6nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (5nm) / $\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}$ (8nm) / Ag (3nm)	7.5
H3	Fe_2O_3 (50nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (4nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (6nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (5nm) / $\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}$ (8nm) / Cu (1nm)	4.1
H4	Fe_2O_3 (50nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (4nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (6nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (5nm) / $\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}$ (8nm) / Cu (1nm) / Ag (3nm)	9.0
H5	Fe_2O_3 (50nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (4nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (1.5nm) / Cu (0.8nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (1.5nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (5nm) / $\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}$ (8nm) / Cu (1nm) / Ag (2nm)	9.2

表8では、従来例の試料H1, H3のスピニバルブ膜に比較して、金属反射膜を用いた本発明の実施例の試料H2, H4, H5がより大きなMR比を示すことがわかる。また、実施例の試料H5は、H4に比べて、MR比は大差ないが、軟磁性層の保持力が約90eから30eに下がった。このように、軟磁性層を、非磁性膜を介して積層された2層以上の磁性膜から構成することにより、軟磁気特性を改善し、磁界感度を上昇させることができる。

【0107】次に従来例の試料H1および本発明の実施例の試料H2, H4の膜をMR素子部20として用いて、図6に示すようなMRヘッドを構成して、特性を評価した。この場合、基板としては Al_2O_3 -TiC基板を用い、下部シールド10、上部シールド15の材料には $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ 合金を用い、下部シールドギャップ11は絶縁膜である Fe_2O_3 (50nm)を素子部分と共に用い、上部シールドギャップ14には Al_2O_3 を用いた。またハードバイアス部12にはCo-Pt合金を用い、リード部13をAuで構成した。

【0108】また、軟磁性層の磁化容易方向が検知すべ

き信号磁界方向と垂直になるように、反強磁性体膜より交換異方性を受けた磁性膜の磁化容易軸の方向が、検知すべき信号磁界方向と平行になるように磁性膜異方性を付与した。

【0109】このための方法として、磁性膜を成膜する際、膜面内で異方性を付与したい方向に、永久磁石で磁界を付与して成膜した。これらの試料H2, H4のヘッドに約200eの交流信号磁界を印加して両ヘッドの出力を評価したところ、本発明の試料H2, H4に係るMRヘッドの出力は従来のMR素子の試料H1を用いたヘッドに比べてそれぞれ約30%、70%高出力であった。

【0110】(実施例9) サファイア(11-20)基板を用い、rfスパッタ法を用いて $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 膜を100nmの厚みに形成した。その後試料を超高真空蒸着装置に移し、RHEED観察したところ基板と同方位に $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ がエビタキシャル成長していた。続いて超高真空蒸着装置内でCo, Cu, Ni-Fe, Cu, Ag膜を作製して、実施例1と同様の方法でMR特性を評価した。その結果を表9に示す。

【0111】

表9

No.	試料構成	MR比(%)
I1	Fe_2O_3 (100nm) / Co (3nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (5nm)	5.1
I2	Fe_2O_3 (100nm) / Co (3nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (5nm) / Ag (3nm)	7.3
I3	Fe_2O_3 (100nm) / Co (3nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (5nm) / Cu (1nm)	3.4
I4	Fe_2O_3 (100nm) / Co (3nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (5nm) / Cu (1nm) / Ag (3nm)	9.2
I5	Fe_2O_3 (100nm) / Co (3nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (5nm) / Co (0.6nm) / Cu (1nm) / Ag (3nm)	11.1
I6	Fe_2O_3 (100nm) / Co (3nm) / Cu (2nm) / Co (0.6nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (5nm) / Co (0.6nm) / Cu (1nm) / Ag (3nm)	12.1
I7	Fe_2O_3 (100nm) / Co (3nm) / Cu (2nm) / $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (5nm) / Co (0.6nm) / Cu (1nm)	3.3

表9では、従来例の試料I1, I3のスピニバルブ膜に比較して、金属反射膜を用いた本発明の実施例の試料I2, I4がより大きなMR比を示すことがわかる。またCo層から成る界面磁性層を非磁性層と磁性層との界面に挿入するこ

とにより更にMR比が大きくなることは実施例の試料I5, I6より明らかである。一方、比較例の試料I7の場合には試料I3の場合に比較してほとんどMR比に変化がない。この原因は、Cu表面での電子の鏡面反射がほとんどないた

め、Co/Cu界面でスピン方向に依存した散乱がほとんど増えないためと考えられる。

【0112】また、実施例の試料J5,J6では界面磁性層がCo層である場合について説明したが、Co高濃度のCo-Fe合金を用いた場合もほぼ同様の効果が得られる。

【0113】(実施例10) 実施例9と同様にして、rf

スパッタ法を用いて、サファイア(11-20)基板上に50nmの厚みの $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 膜をエピタキシャル成長させた。続いて同じrfスパッタ法でCo, Cu, Ni-Fe, Cu, Ag, Ir-Mn膜を作製して、実施例1と同様の方法でMR特性を評価した。その結果を表10に示す。

【0114】

表10

No.	試料構成	MR比(%)
J1	Fe_2O_3 (50nm)/Co(4nm)/Cu(2nm)/ $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (6nm)/Cu(2nm)/Co(5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)	5.8
J2	Fe_2O_3 (50nm)/Co(4nm)/Cu(2nm)/ $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (6nm)/Cu(2nm)/Co(5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Ag(3nm)	8.2
J3	Fe_2O_3 (50nm)/Co(4nm)/Cu(2nm)/ $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (6nm)/Cu(2nm)/Co(5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Cu(1.5nm)	4.9
J4	Fe_2O_3 (50nm)/Co(4nm)/Cu(2nm)/ $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ (6nm)/Cu(2nm)/Co(5nm)/Ir _{0.2} Mn _{0.8} (8nm)/Cu(1.5nm)/Ag(3nm)	10.3

表10では、従来例の試料J1,J3のスピンドルブ膜に比較して、金属反射膜を用いた本発明の実施例の試料J2,J4がより大きなMR比を示すことがわかる。

【0115】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のスピンドル型磁気抵抗効果素子は、従来のスピンドル型磁気抵抗効果素子に比べて大きなMR比が得られる。そのため、磁気ヘッドとして用いた場合、より大きな再生出力を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の断面の模式図である。

【図2】本実施の形態に係る他の磁気抵抗効果素子の断面の模式図である。

【図3】本実施の形態に係る他の磁気抵抗効果素子の断面の模式図である。

【図4】本実施の形態に係る他の磁気抵抗効果素子の断面の模式図である。

【図5】本実施の形態に係る他の磁気抵抗効果素子の断

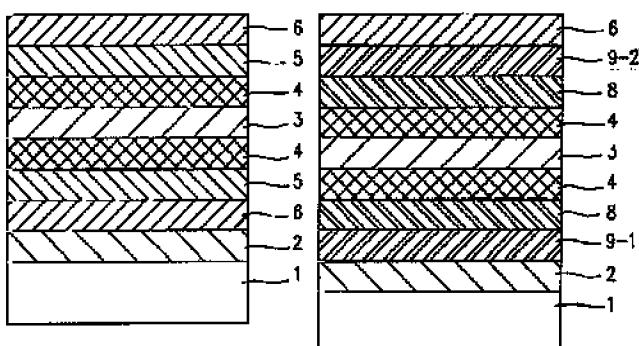
面の模式図である。

【図6】本実施の形態に係る磁気抵抗効果型磁気ヘッドの一例の断面図である。

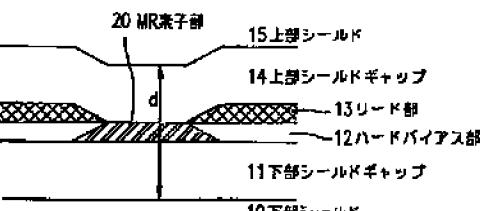
【符号の説明】

- 1 基板
- 2 下地膜
- 3 軟磁性膜
- 4 非磁性膜
- 5 硬質磁性膜
- 6 金属反射膜
- 7 非磁性膜
- 8 磁性膜
- 10 下部シールド
- 11 下部シールドギャップ
- 12 ハードバイアス部
- 13 リード部
- 14 上部シールドギャップ
- 15 上部シールド
- 20 MR素子部
- 9-1
- 9-2
- d
- 11 下部シールドギャップ
- 10 下部シールド

【図3】

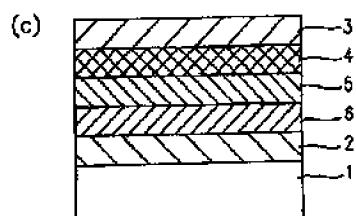
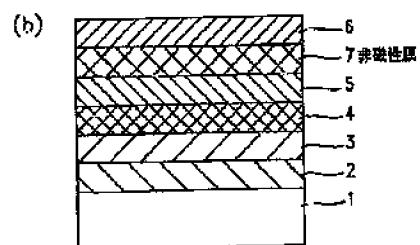
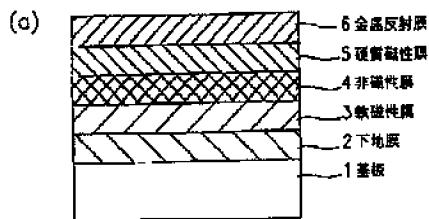


【図5】

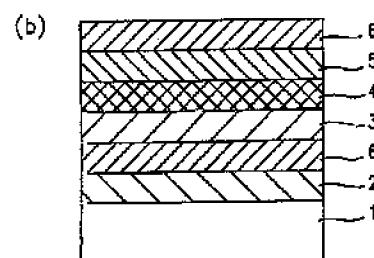
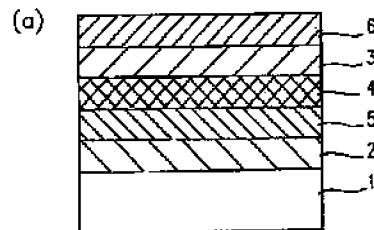


【図6】

【図1】



【図2】



【図4】

